

Artigo REF: 17A001

SISTEMA ÓPTICO DE BAIXO CUSTO PARA MONITORIZAÇÃO DINÂMICA DE ESTRUTURAS

P.F.C. Antunes^{1(*)}, H.F.T. Lima¹, I. Abe¹, H.S.A. Varum^{1,2}, J.L. Pinto^{1,3} e P.S.B. André^{1,3}

¹Universidade de Aveiro, Departamento de Física – Aveiro, Portugal

²Universidade de Aveiro, Departamento de Engenharia Civil – Aveiro, Portugal

³Instituto de Telecomunicações – Aveiro, Portugal

(*)Email: pantunes@ua.pt

RESUMO

Neste trabalho descreve-se a implementação de um sistema baseado em tecnologia óptica, sendo o elemento sensor uma rede de Bragg (FBG). Pretende-se um sistema de baixo custo que permita a monitorização dinâmica de estruturas, nomeadamente para determinação das suas frequências naturais, com elevada capacidade de multiplexagem, sendo esta uma propriedade intrínseca a dispositivos baseados em FBG's. O sistema implementado apresenta uma sensibilidade de 0.985 V/G.

INTRODUÇÃO

Os sensores de aceleração, ou acelerómetros, são vistos como ferramentas chave na monitorização da integridade de vários tipos de estruturas, tais como edifícios, pontes, reservatórios ou barragens, sendo utilizados na detecção de alterações do comportamento estrutural causadas por cargas anormais induzidas pelo vento, sismos, incêndios ou outros acidentes. Monitorizar a resposta dinâmica das estruturas é uma excelente opção para a avaliação das características do seu comportamento dinâmico, permitindo a determinação do seu estado de conservação global; a identificação, localização e extensão de danos ocorridos por uma acção accidental e/ou avaliação dos parâmetros de conforto dos seus utilizadores. A informação decorrente da caracterização dinâmica é fundamental para a calibração de modelos numéricos de análise estrutural, podendo servir para a identificação das maiores fragilidades estruturais, para o apoio na definição de soluções de reabilitação e reforço mais adequadas e para otimizar custos e níveis de segurança associados a cada construção [Baldwin et al., 2005; Csipkes et al., 2005; Rao, 1997].

Os acelerómetros baseados em sensores de fibra óptica apresentam várias vantagens, relativamente aos sensores convencionais, tais como a possibilidade de multiplexar um elevado número de sensores no mesmo cabo, imunidade a campos electromagnéticos e a possibilidade de transmitir sinais a longas distâncias sem necessidade de amplificadores adicionais. Estas vantagens resultam numa redução do custo de implementação. Entre os sistemas sensores baseados em tecnologia óptica, os que utilizam como elemento central a FBG gravada em fibra óptica, apresentam-se como os mais promissores para o estudo de vibrações mecânicas, variações de temperatura, pressão ou deformação. São promissores em virtude das suas reduzidas dimensões, inércia química, alta sensibilidade, possibilidade de monitorização remota, baixa complexidade do projecto e relativa simplicidade dos componentes opto-electrónicos utilizados [Baldwin et al., 2005 and Csipkes et al., 2005].

Neste trabalho, pretendeu-se implementar um sistema baseado em tecnologia óptica que fosse ao encontro das necessidades de uma monitorização eficaz e de baixo custo, especialmente em estruturas de grandes dimensões.

ACELERÓMETRO BASEADO NUMA REDE DE BRAGG

O mecanismo do acelerómetro implementado, e ilustrado na Figura 1, é composto por três elementos principais: uma massa inercial, um mecanismo de suspensão e um dispositivo detector. O mecanismo de suspensão é constituído por uma lâmina de aço (actuando como uma mola) e pela própria fibra óptica, mantendo-a na posição de equilíbrio enquanto o acelerómetro se encontra em repouso. Como elemento sensor é utilizada uma fibra óptica pré-tensionada e colada entre os pontos A e B, na qual é gravada uma rede de Bragg. Durante o processo de aceleração do dispositivo a massa tenderá a permanecer em repouso, fazendo com que a lâmina de aço e a fibra óptica sofram deformações. Estas deformações correspondem à variação da posição da massa inercial em relação ao suporte sujeito à aceleração. É com base nesse movimento que a aceleração sentida no suporte é aferida [Mita & Yokoi, 2000]. O dispositivo detector, neste caso uma rede de Bragg, permite a leitura do movimento da massa durante o processo de aceleração. Neste modelo só pode ser medida a aceleração na direcção do eixo sensível.

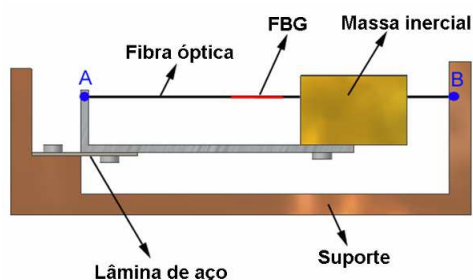


Figura 1. Esquema do acelerómetro implementado.

SISTEMA DE INTERROGAÇÃO

A monitorização dinâmica da resposta de uma rede de Bragg é essencial ao funcionamento de um sistema que utilize o acelerómetro implementado, deste modo, impõe-se a necessidade de construção de um sistema de interrogação de baixo custo e elevada frequência de funcionamento. O sistema de interrogação proposto e implementado, tem como base a passagem do sinal reflectido pela rede de Bragg do acelerómetro por um filtro óptico com elevada largura espectral. A variação da posição espectral do pico de reflectividade da rede de Bragg provoca uma alteração na potência óptica transmitida pelo filtro. Quando a rede está sujeita a perturbações externas, o comprimento de onda reflectido altera-se e a potência óptica transmitida pelo filtro óptico varia em função da área de convolução dos espectros do filtro e da rede. A saída do filtro encontra-se ligada a um fotodetector que converte a potência óptica incidente numa corrente eléctrica, sendo esta convertida para valores de tensão eléctrica por um amplificador de transimpedância. O sistema implementado permite compensar eventuais variações da potência óptica injectada no acelerómetro. Para isso, o sinal proveniente do acelerómetro é dividido em duas componentes, uma de referência que é inserida directamente num fotodetector e outra que passa pelo filtro óptico antes de ser injectada num segundo fotodetector. Após os fotodetectores os sinais eléctricos seguem percursos semelhantes. Passam por um amplificador de transimpedância, por um estágio de amplificação final, são convertidos para formato digital e processados num computador. Para a conversão para o formato digital foi utilizada uma placa de aquisição da *National Instruments*, modelo

USB6008, com 8 entradas analógicas com níveis máximos de tensão compreendidos entre -20 e +20 V, uma resolução de 12 bit e uma taxa de amostragem máxima de 10000 amostras/s. Foi desenvolvida em *LabVIEW* uma aplicação que permite visualizar em tempo real os dados do sistema bem o seu registo em ficheiros para posterior análise. Nesta aplicação o sinal sensor é dividido pelo sinal de referência, deste modo, são compensadas oscilações na potência da fonte de ruído. O filtro utilizado é da *JDS Fitel*, modelo DTB4500, sintonizável numa faixa espectral entre 1530 nm e 1560 nm e uma largura a meia altura de 1.2 nm. A região de operação de um sistema deste tipo está limitada pela largura espectral do filtro óptico e pela elongação máxima permitida à fibra. A esquematização deste sistema de interrogação encontra-se na Figura 2.

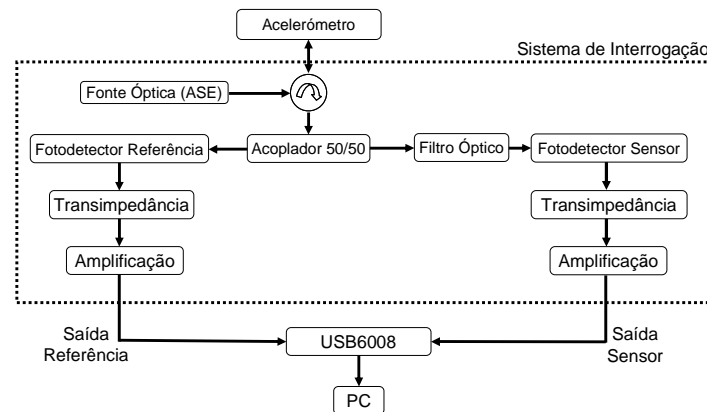


Figura 2. Esquematização do funcionamento do sistema de interrogação implementado.

A relação entre a tensão eléctrica à saída do interrogador e a potência óptica transmitida pelo filtro, que por sua vez é proporcional ao comprimento de onda reflectido pela rede de Bragg, é dependente da forma espectral do filtro utilizado. Neste caso o filtro utilizado apresenta uma forma gaussiana, no entanto, tendo em conta que se pretendem medir acelerações bastante baixas (na gama das dezenas de mG), verifica-se que o intervalo de operação do sistema se encontra numa região linear do filtro óptico, podendo-se considerar a relação da potência eléctrica medida com a potência óptica transmitida como linear. Obteve-se uma relação da tensão eléctrica à saída do sistema de interrogação com potência óptica transmitida de 23444.03 ± 473.52 V/W e um offset de 0.09 ± 0.02 V, com um coeficiente de correlação de 0.99392. Para a relação entre a tensão eléctrica à saída do interrogador e o comprimento de onda reflectido pela rede de Bragg obteve-se uma razão de 1.249 ± 0.049 V/nm. No entanto, é importante salientar que a alteração da rede de Bragg ou alteração da posição espectral do filtro óptico leva a alterações nos valores destes parâmetros, pelo que nestes casos se deve realizar novamente o seu cálculo.

RESULTADOS

Com o objectivo de analisar a resposta do acelerómetro registou-se a aceleração de uma placa metálica ao longo do tempo, solicitada com pequenos impactos mecânicos. As extremidades da placa metálica, com dimensões $1200 \times 200 \times 4$ mm, foram aparafusadas a dois blocos maciços de betão. Ao centro da placa foram colocados: o acelerómetro óptico; um acelerómetro da *Crossbow Technology, inc.*, modelo CLX02LF1Z (LF séries) e um sismógrafo da *GeoSig*, modelo AC-63. A placa foi colocada a vibrar por acção de pequenos impulsos mecânicos, aplicados ao logo da linha central da placa, registando-se os dados de aceleração com os três sensores, que se apresentam na Figura 3 (esquerda). Realizando a

transformada de Fourier dos sinais de aceleração em função do tempo, referentes às medidas com os três sensores, obtém-se os espectros de frequências que se mostram na Figura 3 (direita), que permitem identificar a frequência natural da placa metálica.

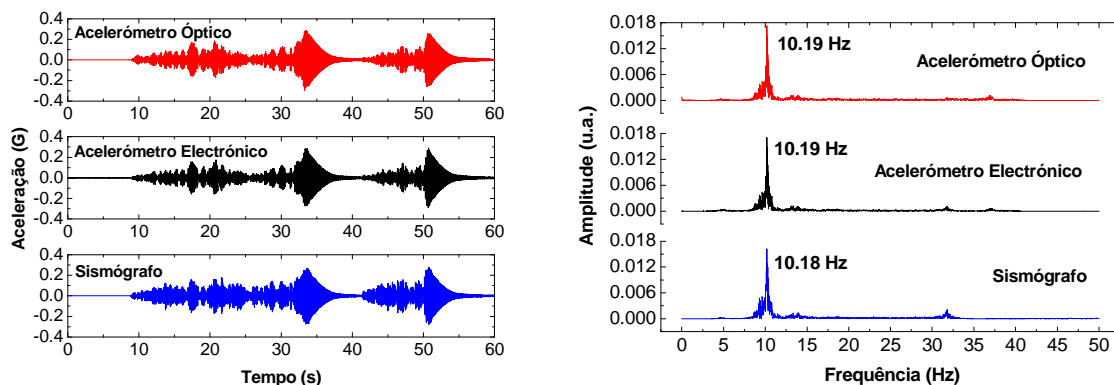


Figura 3. Aceleração da placa metálica medida com os três sensores.

Dos dados da Figura 2, verifica-se um comportamento do acelerómetro óptico idêntico ao do acelerómetro electrónico de referência e ao sismógrafo. Os resultados de amplitude de aceleração são coincidentes, bem como a frequência natural determinada para a placa metálica. O desvio médio quadrático dos dados registados apresenta um valor de 3.42×10^{-5} G, relativamente ao acelerómetro electrónico de referência.

CONCLUSÃO

O acelerómetro óptico implementado permite a identificação da frequência da oscilação, possibilitando assim a identificação das frequências naturais de estruturas. Obteve-se uma sensibilidade do sistema óptico de 0.985 V/G, sendo a sensibilidade do acelerómetro de 0.789 nm/G. O sistema implementado apresenta-se como uma solução de baixo custo que poderá ser incluída em testes dinâmicos de medidas de vibração em estruturas, com o objectivo de determinar as suas frequências naturais e modos de vibração associados.

REFERÊNCIAS

- Baldwin, C.; Niemczuk, J.; Kiddy J. & Salter, T., Review of fiber optic accelerometers, *IMAC XXIII: A conference & Exposition on Structural Dynamics*, Session 37, Paper N° 444 (2005).
- Csipkes, S. F. A.; Graver, T. W.; Haber, T. C.; Méndez, A. & Miller, J. W., The maturing of optical sensing technology for commercial applications, Micron Optics Inc., (2005).
- Mita, A. & Yokoi, I., Fiber Bragg grating accelerometer for structural health monitoring, Fifth International Conference on Motion and Vibration Control, Sydney, Australia (2000).
- Rao, Y. J., In-fibre Bragg grating sensors, *Measurement Science & Technology*, 8 (1997) 355-375.